

Karakterisasi Morfologi dan Pemanfaatan Sumber Karbon oleh Khamir Antagonis Patogen Antraknosa

Morphological Characterization and Carbon Source Utilization by Antagonistic Yeast to Anthracnose Pathogen

Hartati S¹, Wiyono S², Hidayat SH², Sinaga MS²

¹Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Kampus Jatinangor, Jatinangor 45363 Indonesia

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 Indonesia

Hartati S, Wiyono S, Hidayat SH, Sinaga MS. 2017 – Karakterisasi Morfologi dan Pemanfaatan Sumber Karbon oleh Khamir Antagonis Patogen Antraknosa. Jurnal Mikologi Indonesia 1(2), 47-60.

Abstrak

Karakterisasi morfologi khamir penting dilakukan sebagai pengenalan awal suatu isolat khamir. Sedangkan, pengamatan terhadap pemanfaatan sumber karbon digunakan untuk mengetahui sumber karbon yang dapat digunakan oleh khamir untuk memperbanyak dan peningkatan kemampuannya sebagai agens biokontrol. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi morfologi dan mengetahui pemanfaatan sumber karbon oleh khamir antagonis patogen antraknosa pada cabai (*Colletotrichum acutatum*). Karakterisasi morfologi khamir dilakukan dengan mengamati secara makroskopis koloni enam spesies khamir dalam medium PDA. Karakterisasi morfologi juga dilakukan dengan mengamati mikroskopis sel khamir di bawah mikroskop cahaya *photomicrograph multi eyepiece* (Zeiss Axiocam). Pengamatan pemanfaatan sumber karbon oleh khamir dilakukan dengan menggunakan BIOLOGTM (MicrologTM System, Release 5.2). Karakteristik morfologi enam spesies khamir antagonis menunjukkan bahwa koloni khamir didominasi warna krem keputihan dengan permukaan kasar, kusam, dan tepi koloni tidak rata. Karakteristik sel secara mikroskopis menunjukkan bentuk sel didominasi oleh bentuk silinder, dengan ukuran bervariasi. Sebagian besar khamir bersifat dimorfik. Pengamatan pemanfaatan sumber karbon oleh khamir antagonis menunjukkan *Aureobasidium pullulans*, *Pseudozyma hubeiensis*, *Pseudozyma aphidis* dan *Pseudozyma shanxiensis* dapat memanfaatkan 20 sumber karbon yang sama yaitu Tween 80, Arbutin, D-Gluconic Acid, D-Glucuronic Acid, D-Ribose, Salicin, α -Amino-Butyric Acid, Bromosuccinic Acid, Fumaric Acid, β -Hydroxy Butyric Acid, L-Lactic Acid, L-Malic Acid, Succinamic Acid, Succinic Acid, Alaninamide, L-Alanine, L-Aspartic Acid, L-Glutamic Acid, Putrecine, dan Quinic Acid. Sedangkan, dua spesies khamir yaitu *Rhodotorula minuta* dan *Candida tropicalis* dapat memanfaatkan dua sumber karbon yang sama yaitu D-Trehalose dan D-Galactose plus D-Xylose.

Kata Kunci– Agen biokontrol– *Aureobasidium pullulans*– dimorfik– D-Trehalose,– *Rhodotorula minuta*

Abstract

*It is important to morphologically characterize a yeast isolate as a preliminary study. Assessment of carbon source utilization can be carried out to find out the source of carbon which can be used for the yeast multiplication and increase its ability as a biocontrol agent. The research was objected to morphologically characterization a yeast isolate antagonistic to anthracnose pathogen (*Colletotrichum acutatum*) and to study the utilization of carbon source. Morphological characterization was assessed by observation of growth of six yeast species on potato dextrose agar. Microscopic examination by using photomicrograph multi eyepiece (Zeiss Axiocam) was also done on cells of the yeast. Carbon utilization was assessed by using BIOLOGTM (MicrologTM System, Release 5.2). The results showed that the dominant color of the six species of the yeast was creamy white with rough surface, and not smooth edge. The dominant cell shape was cylindrical in various size. Most of them were dimorphic. *Aureobasidium pullulans*, *Pseudozyma hubeiensis*, *Pseudozyma aphidis* and *Pseudozyma shanxiensis* could utilize the same 20 sources of carbon source, i.e. Tween 80, Arbutin, D-Gluconic Acid, D-Glucuronic Acid, D-Ribose, Salicin, α -Amino-Butyric Acid, Bromosuccinic Acid, Fumaric Acid, β -Hydroxy Butyric Acid, L-Lactic Acid, L-Malic Acid, Succinamic Acid, Succinic Acid, Alaninamide, L-Alanine, L-Aspartic Acid, L-Glutamic Acid, Putrecine, and Quinic Acid. *Rhodotorula minuta* and *Candida tropicalis* could utilize the same two carbon sources i.e. D-Trehalose and D-Galactose plus D-Xylose.*

Key Words: *biocontrolagent- Aureobasidium pullulans- dimorphic- D-Trehalose- Rhodotorula minuta*

Pendahuluan

Pemanfaatan khamir sebagai agens antagonis penyakit tanaman merupakan salah satu upaya untuk memanfaatkan sumberdaya genetik pertanian. Upaya pemanfaatan biodiversitas khamir dapat dilakukan melalui eksplorasi khamir bermanfaat salah satunya sebagai agens antagonis. Khamir banyak ditemukan pada daun, buah dan nektar bunga (Carlile *et al.* 2001). Potensi khamir sebagai agens antagonis telah banyak dilaporkan untuk mengendalikan patogen pra- dan pascapanen (Santos *et al.* 2004, Kalogiannis *et al.* 2006, Chanchaichaovivat *et al.* 2007, Chanchaichaovivat *et al.* 2008, Gholamnejad *et al.* 2010, Nantawanit *et al.* 2010, Haïssam 2011, Li *et al.* 2011, Rosa-Magri *et al.* 2011, Ziedan & Farrag 2011, Csutak *et al.* 2013).

Khamir adalah kelompok cendawan uniseluler tetapi ada beberapa khamir memiliki sifat dimorfik yaitu memiliki kemampuan membentuk sel uniseluler dan hifa. Sebagian besar khamir dikelompokkan dalam Ascomycota dan Basidiomycota Sub-bagian dari kerajaan Mycota. Beberapa khamir tidak membentuk spora (asporogenous) dan digolongkan ke dalam fungi imperfekti yang lainnya membentuk spora seksual askospora dan basidiospora sehingga digolongkan ke dalam Ascomycetes dan Basidiomycetes (Kurtzman & Fell 2012).

Enam spesies khamir yang diisolasi dari daun dan buah cabai telah diketahui memiliki kemampuan sebagai agens antagonis terhadap patogen penyebab penyakit antraknosa pada cabai yaitu *Colletotrichum acutatum* dengan tingkat pengendalian berkisar antara 60,53% sampai 99,14% (Hartati *et al.* 2016). Spesies-spesies khamir tersebut adalah *Rhodotorula minuta*, *Aureobasidium pullulans*, *Candida tropicalis*, *Pseudozyma hubeiensis*, *Pseudozyma aphidis* dan *Pseudozyma shanxiensis*. Karakter morfologi khamir tersebut perlu diketahui baik secara makroskopis maupun mikroskopis. Khamir memiliki karakter morfologi yang sederhana dan tidak mempunyai banyak variasi (Guarro *et al.* 1999). Akan tetapi, karakter morfologi seperti karakter koloni dan karakter mikroskopis sel khamir penting untuk pengenalan awal suatu isolat khamir agar dapat dibedakan dengan mikroorganisme lain dan untuk membedakan antar genus khamir. Hal ini disebabkan khamir memiliki karakter

morfologi makroskopis koloni dan mikroskopis sel yang mirip dengan bakteri. Menurut Kurtzman *et al.* (2003) karakter morfologi makroskopis koloni khamir dapat digunakan untuk identifikasi khamir. Karakter morfologi mikroskopis juga dapat digunakan untuk identifikasi khamir.

Karakter biokimia dari enam spesies khamir antagonis juga perlu diketahui, khususnya kemampuannya dalam memanfaatkan sumber karbon sebagai sumber nutrisi. Karakter dalam kemampuan memanfaatkan sumber karbon tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nutrisi khususnya sumber karbon yang digunakan oleh khamir. Sumber karbon sangat penting bagi khamir untuk pertumbuhannya secara optimal dan meningkatkan kemampuannya sebagai agens biokontrol. Hal ini berguna untuk mengetahui medium tumbuh yang baik dalam perbanyakan khamir tersebut ketika dibutuhkan dalam aplikasi pengendalian penyakit di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi morfologi dan mengetahui pemanfaatan sumber karbon oleh khamir antagonis patogen antraknosa pada cabai (*Colletotrichum acutatum*).

Metode Penelitian

Karakterisasi morfologi khamir dilakukan di Laboratorium Mikologi Tumbuhan Departemen Proteksi Tanaman IPB dan ruang mikroskop Balai Uji Terap Teknik dan Metode Karantina Pertanian (BUTTMKP) Bekasi. Pengujian pemanfaatan sumber karbon oleh khamir dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Terapan, Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI Bogor.

Penyediaan Isolat Khamir

Enam isolat khamir yaitu Dmg16 BEP, Dmg 11 DEP, Lm 6 BE, SG 25 BE, Dmg 18 BEP, Dmg 28 DEP yang digunakan telah diisolasi dari daun dan buah cabai yang diperoleh dari pertanaman cabai di beberapa tempat yang merupakan sentra produksi cabai yaitu Kabupaten Garut (Rancabango dan Panjiwangi), Kabupaten Bogor (Dramaga, Situ Gede dan Gunung Bunder) Jawa Barat dan Kabupaten Lumajang (Jatiroto) Jawa Timur. Keenam isolat khamir tersebut memiliki potensi sebagai agens antagonis *C. acutatum*. Isolat-isolat khamir tersebut telah diidentifikasi secara molekuler dan diketahui terdiri dari enam spesies yaitu *Rhodotorula minuta*, *Aureobasidium pullulans*, *Candida tropicalis*, *Pseudozyma hubeiensis*, *Pseudozyma aphidis*, dan *Pseudozyma shanxiensis*. Peremajaan dan perbanyakan isolat khamir tersebut dilakukan dengan menggunakan media *Potato Dextrose Agar* (PDA) (Difco 213400).

Karakterisasi Morfologi Khamir

Karakterisasi morfologi khamir dilakukan dengan mengamati secara makroskopis koloni khamir berumur 5 hari dalam medium padat (PDA), meliputi warna koloni, pinggiran koloni, dan permukaan koloni. Karakterisasi morfologi juga dilakukan dengan mengamati mikroskopis sel khamir di bawah mikroskop cahaya *photomicrograph multi eyepiece* (Zeiss *Axiocam*) meliputi bentuk sel, ukuran sel, apakah membentuk hifa atau pseudohifa. Sel khamir diamati dengan membuat preparat pada gelas obyek yang ditutup dengan gelas penutup.

Pengujian Pemanfaatan Sumber Karbon oleh Khamir

Pengujian pemanfaatan sumber karbon oleh khamir dilakukan dengan menggunakan BIOLOGTM (MicrologTM System, Release 5.2). *Microplate* BIOLOG yang digunakan adalah jenis YT untuk khamir sejati dan FF untuk khamir yang menghasilkan hifa. Masing-masing *Microplate* BIOLOG tersebut terdiri dari 96 sumuran yang berisi sumber karbon berbeda.

Koloni isolat pada medium PDA berumur 3 hari untuk khamir sejati dan 7 hari untuk khamir yang menghasilkan hifa diambil dengan menggunakan *cotton swab* steril selanjutnya dibuat suspensi. Suspensi khamir sejati dibuat dengan mencampurkan koloni isolat khamir tersebut dalam akuades steril sebanyak 10 ml dalam tabung reaksi. Sedangkan, suspensi khamir yang menghasilkan hifa dibuat dengan memasukkan koloni khamir tersebut dalam larutan *saline water* (0,85% NaCl), kemudian divortex dan didiamkan selama 10-20 menit, selanjutnya supernatan dimasukkan dalam cairan FF. Pembuatan suspensi dilakukan secara hati-hati sehingga tidak terbentuk gelembung udara.

Turbiditas suspensi khamir diukur dengan BIOLOG Turbidimeter sampai nilai suspensi sesuai dengan standar transmitans yaitu 47% untuk khamir sejati dan 75% untuk khamir yang menghasilkan hifa. Suspensi khamir sejati sebanyak 100 µl dimasukkan ke dalam tiap sumuran *microplate* YT dengan mikropipet *multichannel*, sedangkan suspensi khamir berhifa dimasukkan ke dalam *microplate* FF. Selanjutnya *microplate* yang telah berisi suspensi tersebut diinkubasi pada suhu 26° C selama 24, 48, dan 72 jam untuk khamir sejati dan selama 144 dan 168 jam untuk khamir yang menghasilkan hifa. Pembacaan karakter biokimia khamir dalam memanfaatkan sumber karbon dilakukan dengan menggunakan BIOLOG *Microstation Reader*.

HASIL

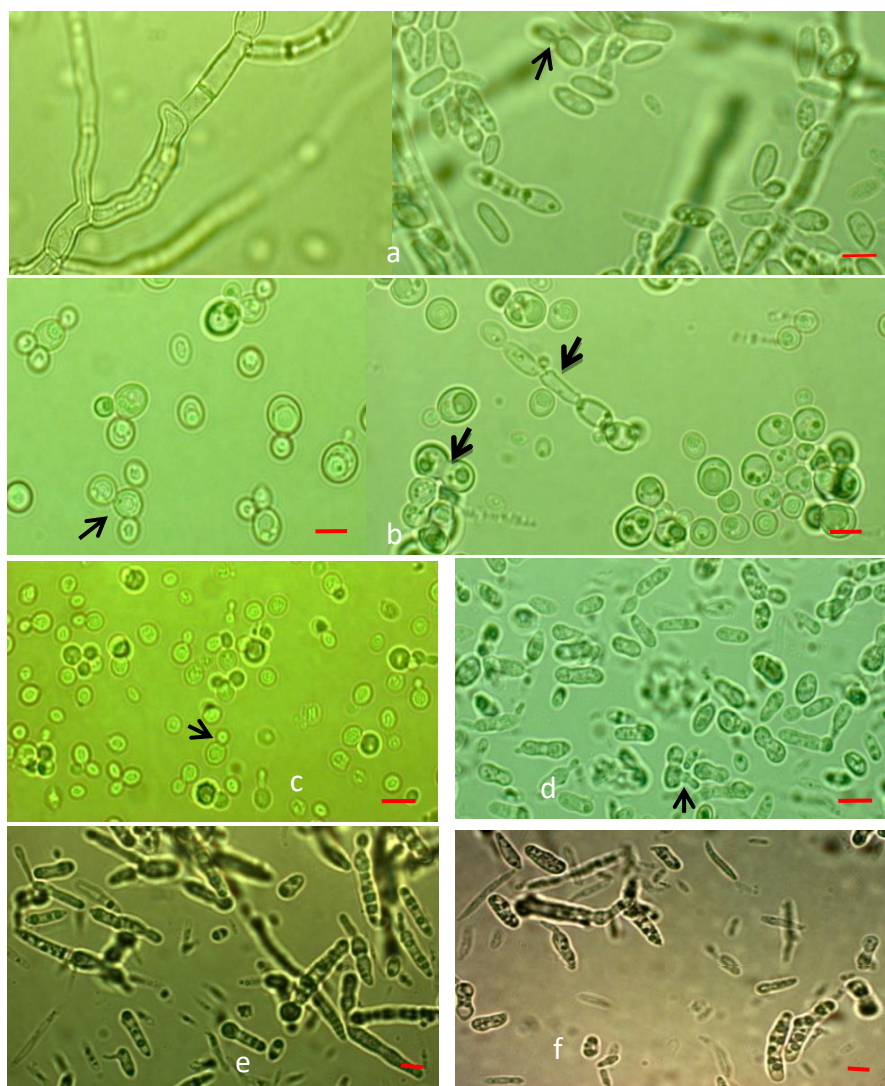
Enam khamir antagonis terhadap patogen antraknosa *C. acutatum* mempunyai karakter morfologi dan kemampuan dalam memanfaatkan sumber karbon yang berbeda-beda. Khamir *R. minuta* memiliki karakteristik morfologi koloni berwarna jingga atau pink kemerahan, lembut, halus, lembab, mengkilap tetapi tidak berlendir, tepi licin, elevasi agak cembung, dan tidak membentuk hifa/pseudohifa. Khamir *C. tropicalis* memiliki karakteristik koloni warna putih krem, permukaan rata dan halus, serta membentuk pseudohifa. Khamir *P. hubeiensis* memiliki karakteristik berwarna krem kecoklatan, kasar, kusam, halus atau agak berkerut, tepi sedikit tidak rata. Karakteristik morfologi *P. aphidis* agak mirip dengan *P. hubeiensis* yaitu warna koloni krem keputihan sampai krem kecoklatan, membentuk butiran (agregat), permukaan kusam, berkerut, dan tepi sedikit tidak rata. Berbeda dengan *P. hubeiensis* dan *P. aphidis*, *P. shanxiensis* memiliki karakteristik warna koloni kuning kecoklatan, permukaan kasar dan kusam, berkerut, dan tepi tidak rata. Khamir *A. pullulans* memiliki karakteristik koloni berwarna krem, coklat, dan lama kelamaan menjadi hitam, permukaan halus, berhifa, koloni datar, mengkilap, dan kasar (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik morfologi koloni khamir antagonis

No	Spesies	Morfologi koloni
1	<i>Rhodotorula minuta</i>	Jingga atau pink kemerahan, lembut, halus, lembab, mengkilap tapi tidak berlendir, tepi licin, elevasi agak cembung, tidak membentuk hifa/pseudohifa
2	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Krem, coklat, hitam, halus, berhifa, koloni datar, mengkilap, kasar
3	<i>Candida tropicalis</i>	Putih krem, halus, permukaan rata, membentuk pseudohifa
4	<i>Pseudozyma aphidis</i>	Krem keputihan, kasar, kusam, berkerut, tepi sedikit tidak rata
5	<i>Pseudozyma hubeiensis</i>	Krem kecoklatan, kasar, kusam, halus atau agak berkerut, tepi sedikit tidak rata
6	<i>Pseudozyma shanxiensis</i>	Kuning kecoklatan, kasar, kusam berkerut, tepi tidak rata

Karakteristik morfologi sel khamir antagonis dengan pengamatan secara mikroskopis menunjukkan bahwa 6 spesies khamir tersebut memiliki bentuk antara bulat sampai silinder atau memanjang (Gambar 1). Beberapa spesies khamir memiliki 2 bentuk (dimorfisme) yaitu bentuk menyerupai sel khamir dan hifa cendawan. Pengamatan secara mikroskopis

menunjukkan bahwa *A. pullulans* memiliki bentuk sel elips atau oval dan hifa hialin berseptat. Spesies khamir anggota genus *Pseudozyma* juga memiliki bentuk dimorfisme, akan tetapi hasil pengamatan mikroskopis terhadap *P. hubeiensis*, *P. aphidis*, dan *P. shanxiensis* hanya didapatkan sel yang berbentuk silinder atau fusiform. Sel khamir *C. tropicalis* dan *R. minuta* memiliki bentuk yang sama yaitu bulat atau ovoid dan mengalami *budding* secara multipolar, tetapi *C. tropicalis* memiliki ukuran sel yang lebih besar dari *R. minuta* (Gambar 1). Perbedaan lain antara *C. tropicalis* dan *R. minuta* adalah *C. tropicalis* membentuk pseudohifa sedangkan *R. minuta* tidak.



Gambar 1. a-f Karakteristik mikroskopik morfologi sel khamir antagonis a. Sel dan hifa *A. pullulans*, b. Sel dan pseudohifa *C. tropicalis*, c. Sel *R. minuta*, d. Sel *P. hubeiensis*, e. Sel *P. aphidis*, f. Sel *P. shanxiensis*. (Skala Bar = 5 μ m).

Sel khamir antagonis yang didapatkan memiliki ukuran bervariasi. Khamir *A. pullulans* memiliki ukuran sel berkisar antara 5.37-9.97 x 2.12-4.80 μ m. Khamir *C. tropicalis*, *P. aphidis* dan *P. hubeiensis* memiliki ukuran sel yang bervariasi. Spesies *P. hubeiensis* memiliki ukuran sel berkisar antara 6.10-20.09 x 2.22-5.24 μ m. Ukuran sel *P. aphidis* lebih besar dibandingkan *P. hubeiensis* dan *P. shanxiensis* (Tabel 2).

Tabel 2. Karakteristik morfologi sel khamir antagonis

No	Spesies	Ukuran sel khamir ^a (μ m)	Bentuk sel
1	<i>Rhodotorula minuta</i>	3.27-4.77 x 2.34-4.41	Bulat/ovoid, tidak membentuk hifa/pseudohifa
2	<i>Aureobasidium pullulans</i>	5.37-9.97 x 2.12-4.80	Elips atau oval, hifa hialin & bersepta
3	<i>Candida tropicalis</i>	6.51-9.97 x 5.98-7.34	Bulat/ovoid, membentuk pseudohifa
4	<i>Pseudozyma aphidis</i>	9.50-28.83 x 2.32-4.79	Silinder/fusiform, hifa hialin & bersepta
5	<i>Pseudozyma hubeiensis</i>	6.10-20.09 x 2.2-5.24	Silinder, hifa hialin & bersepta
6	<i>Pseudozyma shanxiensis</i>	4.43-12.46 x 1.72-5.00	Silinder/fusiform, hifa hialin & bersepta

Keterangan: ^a kisaran panjang x lebar

Karakterisasi khamir *R. minuta* dan *C. tropicalis* berdasarkan kemampuannya dalam memanfaatkan sumber karbon menunjukkan bahwa 2 spesies khamir ini memiliki kemampuan yang berbeda dalam menggunakan sumber karbon. Khamir *R. minuta* menggunakan sumber karbon lebih banyak dibandingkan *C. tropicalis* baik dalam proses oksidasi maupun asimilasi (Tabel 3). Khamir *R. minuta* mampu menggunakan 66 sumber karbon, sedangkan *C. tropicalis* menggunakan 29 sumber karbon. Khamir *R. minuta* menggunakan 21 sumber karbon untuk oksidasi dan 45 sumber karbon untuk asimilasi, sedangkan *C. tropicalis* menggunakan 10 sumber karbon untuk oksidasi dan 19 sumber karbon untuk asimilasi.

Beberapa sumber karbon yang dapat digunakan oleh *R. minuta* tetapi tidak dapat digunakan oleh *C. tropicalis* adalah *acetic acid*, *propionic acid*, *succinic acid*, *Succinic acid Mono-methyl ester*, *L-Aspartic acid*, *L-Glutamic Acid*, *D-Gluconic acid*, *dextrin*, *D-Cellobiose*, *Gentiobiose*, *D-Melezitose*, *D-Psicose*, *D-Sorbitol*, *D-Arabitol*, *Glycerol*, *Tween 80*, *Fumaric acid*, *Bromosuccinic acid*, *L-Gluamic acid*, γ -*Aminobutyric acid*, α -*Ketoglutaric acid*, *2-Keto-D-Gluconic acid*, *Dextrin*, *Inulin*, *Gentiobiose*, *sucrose*, α -*D-Glucose*, β -*Methyl-D-Glucoside*, *Amygdalin*, *Arbutin*, *Salicin*, *D-Sorbitol*, *Adonitol*, *D-Arabitol*, *Xylitol*, *i-Erythritol*, *Glycerol*, *Tween 80*, *L-Arabinose*, *D-Arabinose*, *D-Ribose*, *D-Xylose*, *Succinic acid Mono Methyl Ester plus D-Xylose*, *Quinic Acid plus D-Xylose*, *D-Glucuronic Acid plus D-Xylose*, *D-Melibiose plus D-Xylose*, *1,2-Propanediol plus D-Xylose*, dan *Acetoin plus D-Xylose* (Tabel 3). Namun, tidak seluruh sumber karbon yang dapat digunakan oleh *R. minuta* dan *C. tropicalis* digunakan secara optimal. Beberapa sumber karbon digunakan oleh 2 khamir tersebut dengan konsentrasi rendah. Khamir *R. minuta* menggunakan 47 sumber karbon dengan konsentrasi rendah, sedangkan *C. tropicalis* menggunakan 10 sumber karbon dengan konsentrasi rendah.

Tabel 3. Sumber karbon yang dapat dimanfaatkan oleh *R. minuta* dan *C. tropicalis* melalui oksidasi dan asimilasi pada 48 jam inkubasi

Sumber karbon	Sumber karbon yang dapat dimanfaatkan oleh spesies khamir	
	<i>R. minuta</i>	<i>Ca. Tropicalis</i>
<u>Oksidasi</u>		
<i>Water</i>	N	N
<i>Acetic acid</i>	+	N
<i>Formic acid</i>	N	N
<i>Propionic acid</i>	+	N
<i>Succinic acid</i>	+	N
<i>Succinic acid Mono-methyl ester</i>	+	N
<i>L-Aspartic acid</i>	+	N

<i>L-Glutamic Acid</i>	+	N
<i>L-Proline</i>	N	N
<i>D-Gluconic acid</i>	+	N
<i>Dextrin</i>	+	N
<i>Inulin</i>	+	++
<i>D-Cellobiose</i>	++	N
<i>Gentiobiose</i>	+	N
<i>Maltose</i>	N	++
<i>Maltotriose</i>	N	++
<i>D-Melezitose</i>	+	N
<i>D-Melibiose</i>	N	N
<i>Palatinose</i>	N	++
<i>D-Raffinose</i>	N	N
<i>Stachyose</i>	N	N
<i>Sucrose</i>	+	++
<i>D-Trehalose</i>	++	++
<i>Turanose</i>	N	++
<i>N-Acetyl-D-Glucosamine</i>	N	++
<i>α-D-Glucose</i>	+	++
<i>D-Galactose</i>	+	+
<i>D-Psicose</i>	+	N
<i>L-Sorbose</i>	N	N
<i>Salicin</i>	N	N
<i>D-Mannitol</i>	N	N
<i>D-Sorbitol</i>	+	N
<i>D-Arabitol</i>	+	N
<i>Xylitol</i>	N	N
<i>Glycerol</i>	+	N
<i>Tween 80</i>	+	N
<u>Asimilasi</u>		
<i>Fumaric acid</i>	+	N
<i>L-Malic acid</i>	N	L
<i>Succinic acid Mono-methyl ester</i>	N	N
<i>Bromosuccinic acid</i>	+	N
<i>L-Gluamic acid</i>	+	N
<i>γ-Aminobutyric acid</i>	+	N
<i>α-Ketoglutaric acid</i>	+	N
<i>2-Keto-D-Gluconic acid</i>	+	N
<i>D-Gluconic</i>	+	L
<i>Dextrin</i>	+	N
<i>Inulin</i>	+	N
<i>D-Cellobiose</i>	++	L
<i>Gentiobiose</i>	+	N
<i>Maltose</i>	N	N
<i>Maltotriose</i>	N	++
<i>D-Melezitose</i>	+	++
<i>D-Melibiose</i>	N	++
<i>Palatinose</i>	N	N
<i>D-Raffinose</i>	N	++
<i>Stachyose</i>	N	N
<i>Sucrose</i>	+	N
<i>D-Trehalose</i>	++	++
<i>Turanose</i>	N	++
<i>N-Acetyl D-Glucosamine</i>	+	++
<i>D-Glucosamine</i>	N	++
<i>α-D-Glucose</i>	+	N
<i>D-Galactose</i>	+	++
<i>D-Psicose</i>	+	+
<i>L-Rhamnose</i>	N	N
<i>L-Sorbose</i>	N	N

<i>α-Methyl-D-Glucoside</i>	N	N
<i>β-Methyl-D-Glucoside</i>	+	N
<i>Amygdalin</i>	+	N
<i>Arbutin</i>	++	N
<i>Salicin</i>	++	N
<i>Maltitol</i>	N	N
<i>D-Mannitol</i>	++	+
<i>D-Sorbitol</i>	+	N
<i>Adonitol</i>	+	N
<i>D-Arabitol</i>	+	N
<i>Xylitol</i>	+	N
<i>i-Erythritol</i>	+	N
<i>Glycerol</i>	+	N
<i>Tween 80</i>	+	N
<i>L-Arabinose</i>	+	N
<i>D-Arabinose</i>	+	N
<i>D-Ribose</i>	+	N
<i>D-Xylose</i>	++	N
<i>Succinic acid Mono Methyl Ester plus</i>	+	N
<i>D-Xylose</i>		
<i>N-Acetyl-L-Glutamic Acid plus D-Xylose</i>	++	+
<i>Quinic Acid plus D-Xylose</i>	++	N
<i>D-Glucuronic Acid plus D-Xylose</i>	++	N
<i>Dextrin plus D-Xylose</i>	++	+
<i>α-D-Lactose plus D-Xylose</i>	++	+
<i>D-Melibiose plus D-Xylose</i>	++	N
<i>D-Galactose plus D-Xylose</i>	++	++
<i>m-Inositol plus D-Xylose</i>	++	+
<i>1,2-Propanediol plus D-Xylose</i>	++	N
<i>Acetoin plus D-Xylose</i>	++	N

Keterangan: ++: khamir memanfaatkan sumber karbon dengan optimal, +: Khamir memanfaatkan sumber karbon dengan konsentrasi rendah, N: khamir tidak memanfaatkan sumber karbon.

Beberapa sumber karbon yang mampu dimanfaatkan oleh khamir *R. minuta* dan *C. tropicalis* merupakan sumber karbon sederhana berupa monosakarida dan disakarida. Beberapa sumber karbon sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh *R. minuta* adalah glukosa, galaktosa, sukrosa, dan trehalosa. Khamir *C. tropicalis* mampu memanfaatkan sumber karbon sederhana berupa glukosa, galaktosa, sukrosa, maltosa, dan trehalosa.

Berbeda dengan khamir *R. minuta* dan *C. tropicalis*, khamir *A. pullulans*, *P. hubeiensis*, *P. aphidis*, dan *P. shanxiensis* memiliki kemampuan memanfaatkan sumber karbon lebih banyak. Kemampuan memanfaatkan sumber karbon oleh *P. shanxiensis* dan *P. aphidis* sebanyak 96 sumber karbon. Khamir *A. pullulans* memiliki kemampuan memanfaatkan 73 sumber karbon dan *P. hubeiensis* memiliki kemampuan memanfaatkan 49 sumber karbon. Seperti halnya khamir *R. minuta* dan *C. tropicalis*, khamir-khamir dimorfik juga memanfaatkan beberapa sumber karbon dengan konsentrasi rendah. Jenis *P. shanxiensis*, *P. aphidis*, *P. hubeiensis*, dan *A. pullulans* memanfaatkan sumber karbon dengan konsentrasi rendah berturut-turut sebanyak 25, 9, 21, dan 2 sumber karbon dari 96 sumber karbon yang diuji (Tabel 4).

Khamir *P. hubeiensis* memanfaatkan sumber karbon paling sedikit dibandingkan 2 jenis *Pseudozyma* lainnya (*P. aphidis* dan *P. shanxiensis*). Beberapa sumber karbon yang tidak dapat dimanfaatkan oleh *P. hubeiensis* adalah *N-Acetyl-D-Glucosamine*, *N-Acetyl-D-Mannosamine*, *Adonitol*, *D-Arabitol*, *α-Cyclodextrin*, *β-Cyclodextrin*, *L-Fucose*, *D-Galacturonic Acid*, *Glucuronamide*, *Maltose*, *Maltotriose*, *D-Mannose*, *β-Methyl-D-Galactosidase*, *L-Rhamnose*, *L-Sorbose*, *N-Acetyl-L-Glutamic Acid*, *Glycyl-L-Glutamic Acid*,

L-Ornithine, *2-AminoEthanol*, *Adenosine*, *Uridine*, dan *Adenosin-5-Monophosphate* (Tabel 4).

Tabel 4. Sumber karbon yang dapat dimanfaatkan oleh *A. pullulans*, *P. Hubeiensis*, *P. shanxiensis*, dan *P. aphidis*

Sumber karbon	Sumber karbon yang dapat dimanfaatkan oleh khamir ¹⁾			
	<i>A. pullulans</i>	<i>P. hubeiensis</i>	<i>P. shanxiensis</i>	<i>P. aphidis</i>
<i>Water</i>	N	N	++	++
<i>Tween 80</i>	++	++	++	++
<i>N-Acetyl-D-Galactosamine</i>	++	N	+	+
<i>N-Acetyl-D-Glucosamine</i>	N	++	++	++
<i>N-Acetyl-D-Mannosamine</i>	N	N	+	+
<i>Adonitol</i>	N	+	++	++
<i>Amygdalin</i>	++	N	++	++
<i>D-Arabinose</i>	++	N	+	++
<i>L-Arabinosa</i>	++	N	++	++
<i>D-Arabitol</i>	N	+	++	++
<i>Arbutin</i>	++	++	++	++
<i>D-Cellobiose</i>	++	N	++	++
<i>α-Cyclodextrin</i>	N	N	++	+
<i>β-Cyclodextrin</i>	N	N	++	+
<i>Dextrin</i>	++	+	++	++
<i>i-Erythritol</i>	++	+	++	++
<i>D-Fructose</i>	+	N	++	+
<i>L-Fucose</i>	N	N	+	++
<i>D-Galactose</i>	++	N	++	++
<i>D-Galacturonic Acid</i>	N	N	+	+
<i>Gentiobiose</i>	++	N	++	++
<i>D-Gluconic Acid</i>	++	++	++	++
<i>D-Glucosamine</i>	++	+	++	++
<i>α-D-Glucose</i>	++	N	++	++
<i>Glucose-1-Phosphate</i>	++	+	++	++
<i>Glucuronamide</i>	N	N	+	+
<i>D-Glucuronic Acid</i>	++	++	++	++
<i>Glycerol</i>	++	++	+	++
<i>Glycogen</i>	++	+	++	++
<i>m-Inositol</i>	++	N	++	++
<i>2-keto-D-Gluconic acid</i>	++	N	++	++
<i>α-D-Lactose</i>	++	N	++	++
<i>Lactulose</i>	++	N	++	++
<i>Maltitol</i>	++	N	++	++
<i>Maltose</i>	N	N	++	++
<i>Maltotriose</i>	N	N	++	++
<i>D-Mannitol</i>	++	+	++	++
<i>D-Mannose</i>	N	+	++	++
<i>D-Melezitose</i>	+	+	++	++
<i>D-Melibiose</i>	++	-	++	++
<i>α-Methyl-D-Galactosidase</i>	++	+	+	++
<i>β-Methyl-D-Galactosidase</i>	N	N	++	++
<i>α-Methyl-D-Glucoside</i>	++	N	++	++
<i>β-Methyl-D- Glucoside</i>	++	N	++	++
<i>Palatinose</i>	++	N	++	++
<i>D-Psicose</i>	++	N	+	++
<i>D-Raffinose</i>	++	N	++	++
<i>L-Rhamnose</i>	N	N	+	++
<i>D-Ribose</i>	++	++	++	++
<i>Salicin</i>	++	++	++	++
<i>Sedoheptulosan</i>	++	+	+	+
<i>D-Sorbitol</i>	++	+	++	++

<i>L-Sorbose</i>	N	+	++	++
<i>Stachyose</i>	++	+	++	++
<i>Sucrose</i>	++	N	++	++
<i>D-Tagatose</i>	++	N	+	++
<i>D-Trehalose</i>	++	+	++	++
<i>Turanose</i>	++	N	++	++
<i>Xylitol</i>	++	+	++	++
<i>D-Xylose</i>	++	N	++	++
<i>γ-Amino-Butyric Acid</i>	++	++	++	++
<i>Bromosuccinic Acid</i>	++	++	++	++
<i>Fumaric Acid</i>	++	++	++	++
<i>β-Hydroxy-Butyric Acid</i>	++	++	++	++
<i>γ-Hydroxy-Butyric Acid</i>	++	++	+	++
<i>p-Hydroxyphenyl-Acetic Acid</i>	++	N	+	++
<i>α-Keto-Glutaric Acid</i>	++	N	+	++
<i>D-Lactic Acid Methyl Ester</i>	++	N	+	++
<i>L-Lactic Acid</i>	++	++	++	++
<i>D-Malic Acid</i>	++	++	+	++
<i>L-Malic Acid</i>	++	++	++	++
<i>Quinic Acid</i>	++	++	++	++
<i>D-Saccharic Acid</i>	++	N	++	++
<i>Sebacic Acid</i>	++	N	+	++
<i>Succinamic Acid</i>	++	++	++	++
<i>Succinic Acid</i>	++	++	++	++
<i>Succinic Acid Mono Methyl-Ester</i>	++	N	+	++
<i>N-Acetyl-L-Glutamic Acid</i>	N	N	++	+
<i>Alaninamide</i>	++	++	++	++
<i>L-Alanine</i>	++	++	++	++
<i>L-Alanyl-Glycine</i>	++	+	+	++
<i>L-Asparagine</i>	++	+	++	++
<i>L-Aspartic Acid</i>	++	++	++	++
<i>L-Glutamic Acid</i>	++	++	++	++
<i>Glycyl-L-Glutamic Acid</i>	N	N	++	++
<i>L-Ornithine</i>	N	++	++	++
<i>L-Phenylalanine</i>	++	++	+	++
<i>L-Proline</i>	++	N	++	++
<i>L-Pyroglutamic Acid</i>	++	N	++	++
<i>L-Serine</i>	++	N	+	++
<i>L-Threonine</i>	++	+	+	++
<i>2-AminoEthanol</i>	N	N	+	++
<i>Putrecine</i>	++	++	++	++
<i>Adenosine</i>	N	++	++	++
<i>Uridine</i>	N	++	++	++
<i>Adenosin-5-Monophosphate</i>	N	+	+	++

Keterangan: ¹⁾pengamatan 168 jam (*A. pullulans*, *P. shanxiensis*), 144 jam (*P. hubeiensis*, *P. aphidis*), ++: khamir memanfaatkan sumber karbon dengan optimal, +: Khamir memanfaatkan sumber karbon dengan konsentrasi rendah, N: khamir tidak memanfaatkan sumber karbon,

Khamir *A. pullulans*, *P. hubeiensis*, *P. shanxiensis*, dan *P. aphidis* mampu memanfaatkan beberapa sumber karbon sederhana. Khamir *A. pullulans* mampu memanfaatkan glukosa, fruktosa, galaktosa, gliserol, laktosa, melibiosa, dan sukrosa. Khamir *P. shanxiensis*, dan *P. aphidis* mampu memanfaatkan glukosa, fruktosa, galaktosa, gliserol, laktosa, melibiosa, maltosa, dan sukrosa. Khamir *P. hubeiensis* hanya memanfaatkan sumber karbon sederhana glukosa dan gliserol.

Pembahasan

Pseudozyma spp. adalah khamir yang memiliki bentuk dimorfik yang termasuk dalam filum Basidiomycota, kelas Ustilaginomycetes, ordo Ustilaginales. Buxdorf *et al.* (2013) melaporkan bahwa *P. aphidis* isolat L12 merupakan epifit yang memiliki bentuk dimorfik. Warna koloni *P. aphidis* keputih-putihan hingga krem kekuningan, permukaan kusam, sel berbentuk fusiform dengan ukuran berkisar antara 5.0-33.0 x 1.8-3.0 μm , membentuk sel budding polar, dan membentuk hifa (Kurtzman & Fell 2012). Khamir *P. hubeiensis* Bai & Wang sp. nov. memiliki karakteristik koloni berwarna keputih-putihan, *butyrous*, permukaan kusam, halus atau agak keriput, tepi utuh atau agak terkikis, membentuk pseudohifa, sel berbentuk silinder, ukuran sel 2.0-3.76 x 5.0-10.0 μm , sedangkan *P. shanxiensis* Bai & Wang sp. nov. memiliki koloni berwarna kuning kecoklatan atau coklat, *butyrous*, permukaan kusam, keriput, tepi terkikis, membentuk pseudohifa, dan sel berbentuk fusiform atau silinder, ukuran sel 1.5-3.0 x 5.2-10.0 μm (Wang *et al.* 2006). Karakter morfologi 3 spesies *Pseudozyma* ini sama dengan 3 isolat yang didapatkan dari penelitian yang diidentifikasi sebagai *P. hubeiensis*, *P. aphidis*, dan *P. shanxiensis*.

Spesies *C.tropicalis* (Castellani) Berkhout diklasifikasikan ke dalam filum Ascomycota, ordo Saccharomycetales. Karakteristik morfologi spesies ini memiliki koloni berwarna putih sampai krem, permukaan halus, sel berbentuk subglobose sampai ovoid, sel berukuran 3.5-7.0 x 5.5-10.0 μm , membentuk pseudohifa yang merupakan rantai sel berbentuk silinder, membentuk sel budding atau *blastoconidia* (Kurtzman & Fell 2012). Karakter ini sesuai dengan hasil pengamatan koloni dan mikroskopis khamir yang diamati tetapi dengan ukuran sel yang lebih besar.

Khamir *R. minuta* (Saito) F.C. Harrison merupakan anggota filum Basidiomycota, ordo Sporidiobolales. Chang dan Wang (2002) menjelaskan karakteristik *R. minuta* pada medium YM agar, umur kultur 7 hari pada 25°C, koloni berwarna pink, permukaan halus, mengkilap tetapi tidak berlendir, agak cembung, sel berbentuk ovoid, bulat atau memanjang, ukuran sel 4.0-5.0 x 5.5-7.0 μm , tidak menghasilkan hifa dan pseudohifa. Karakter ini sesuai dengan hasil pengamatan secara mikroskopis spesies *R.minuta*, meskipun ukuran sel *R. minuta* yang diperoleh dari penelitian ini lebih kecil. Perbedaan ukuran sel ini diduga disebabkan perbedaan medium tumbuh yang digunakan.

Khamir *A. pullulans* menunjukkan polimorfisme, yaitu dapat tumbuh sebagai khamir dengan membentuk sel tunas atau membentuk miselia. Koloni *A. pullulans* dalam medium PDA mula-mula berwarna krem kemudian berubah menjadi coklat muda dan akhirnya menjadi hitam. Menurut Gaur *et al.* (2010) koloni *A. pullulans* mula-mula berwarna krem, permukaan koloni halus dan akhirnya tertutup lendir, kemudian warna koloni berubah menjadi krem kekuningan, coklat muda, dan akhirnya menjadi hitam karena produksi melanin pada kladospore dan hifa. Zalar *et al.* (2008) menjelaskan mikroskopis *A. pullulans* berupa hifa hialin, konidia hialin, satu sel, halus, berbentuk elips dengan ukuran bervariasi antara 7.5-16 x 3.5-7 μm . Pengamatan mikroskopis sel *A. pullulans* yang didapatkan dari permukaan daun cabai menunjukkan sel berbentuk elips dan hifa hialin.

Karakter fisiologi dan biokimia dapat digunakan untuk identifikasi khamir, meskipun cara identifikasi ini mempunyai kelemahan. Menurut Kurtzman dan Fell (2012) karakter fisiologi dan biokimia yang digunakan untuk identifikasi khamir antara lain kemampuan fermentasi gula tertentu, kemampuan asimilasi unsur karbon dan nitrogen, kemampuan tumbuh tanpa keberadaan vitamin tertentu, kemampuan tumbuh pada substrat yang memiliki kandungan gula atau garam yang tinggi, kemampuan tumbuh pada suhu 37°C, dan kemampuan tumbuh pada medium dengan kandungan *cycloheksimide*. Karakter fisiologi dan biokimia juga dapat digunakan untuk mengetahui nutrisi yang dapat digunakan oleh khamir, sehingga khamir dapat tumbuh dengan optimal. Karakter ini juga dapat digunakan untuk

mengetahui kemampuan khamir untuk menghasilkan senyawa-senyawa atau produk-produk yang dibutuhkan dalam industri.

Sumber karbon merupakan salah satu nutrisi yang dibutuhkan oleh khamir baik dalam proses oksidasi, asimilasi, maupun fermentasi. Sumber karbon dibutuhkan dalam pertumbuhan optimal khamir yang akan menentukan karakter fenotipik dan morfologi. Kemampuan khamir dalam menggunakan sumber karbon merupakan kriteria yang penting dalam identifikasi secara konvensional dengan pengujian fisiologi dan biokimia. Sifat fenotipik dan morfologi koloni *A. pullulans* dipengaruhi oleh sejumlah faktor yaitu sumber karbon, umur koloni, suhu, cahaya dan substrat (Barnett *et al.* 2000).

Berdasarkan hasil uji penggunaan sumber karbon oleh spesies *Pseudozyma*, terdapat perbedaan beberapa spesies khamir tersebut dalam memanfaatkan sumber karbon. Dua spesies *Pseudozyma* yaitu *P. shanxiensis* dan *P. aphidis* mengasimilasi m-inositol, sedangkan *P. hubeiensis* tidak mengasimilasi m-inositol. Reaksi positif asimilasi inositol merupakan salah satu kriteria fenotipik suatu khamir dikelompokkan dalam genus *Pseudozyma* (Boekhout & Fell, 1998). Hasil penelitian Wang *et al.* (2006) menunjukkan bahwa 2 strain *P. hubeiensis* sp. nov. tidak dapat mengasimilasi inositol. Namun, hasil analisis filogenetik menunjukkan bahwa *P. hubeiensis* sp. nov. berkerabat dengan *P. prolifica*. Oleh karena itu, menurut Wang *et al.* (2006) kriteria reaksi positif asimilasi inositol harus dihilangkan dalam diagnosis genus ini. Spesies *P. hubeiensis* sp. nov. dibedakan dengan spesies lain dalam genus ini berdasarkan ketidakmampuannya dalam mengasimilasi inositol. Spesies *P. shanxiensis* sp. nov dapat dibedakan dari spesies lain dalam genus ini berdasarkan kemampuan mengasimilasi *erythritol*, *lactose*, *L-rhamnose* dan *ethanol* (Wang *et al.* 2006).

Spesies *P. hubeiensis* mengasimilasi dengan lemah *glucose*, *galactose*, *sucrose*, *maltose*, *cellobiose*, *melibiose*, *raffinose*, *trehalose* dan *melezitose*. Spesies *P. hubeiensis* mengasimilasi *D-xylose*, *L-arabinose*, *D-arabinose*, *D-ribose*, *D-glucosamine*, *glycerol*, *erythritol*, *ribitol*, *D-mannitol*, *D-glucitol*, *methyl α-D-glucoside*, *succinic acid* dan *hexadecane*, tetapi tidak mengasimilasi *L-sorbose*, *inulin*, *L-rhamnose*, *methanol*, *ethanol*, *galactitol*, *salicin*, *DL-lactic acid*, *citric acid*, *inositol* (Wang *et al.* 2006). Spesies *P. shanxiensis* mengasimilasi dengan lemah *glucose*, *galactose*, *sucrose*, *maltose*, *trehalose*, *lactose*, *melibiose*, *raffinose*, *melezitose*, *L-sorbose*, *cellobiose*, *inulin*, *L-rhamnose*, *D-glucosamine*, *methanol*, *erythritol*, *ribitol*, *galactitol*, *DL-lactic acid* dan *citric acid*. Spesies *P. shanxiensis* mengasimilasi atau tidak *D-xylose*, *L-arabinose*, *D-ribose*, *ethanol*, *glycerol*, *D-mannitol*, *D-glucitol*, *methyl α-D-glucoside*, *salicin*, *succinic acid*, *inositol* dan *hexadecane* (Wang *et al.* 2006). Spesies *P. aphidis* mengasimilasi *glucose*, *galactose*, *sucrose*, *maltose*, *trehalose*, *lactose*, *melibiose*, *raffinose*, *melezitose*, *D-xylose*, *L-arabinose*, *D-arabinose*, *D-ribose*, *L-rhamnose*, *D-glucosamine*, *erythritol*, *D-mannitol*, *D-glucitol*, *α-methyl-D-glucoside*, *DL-lactate*, *succinate*, *citrate*, *inositol*, *2-keto-D-gluconate*, *saccharate* dan *D-glucuronate* (Kurtzman & Fell, 2012).

Spesies *A. pullulans* mengasimilasi *glucose*, *L-sorbose*, *sucrose*, *maltose*, *cellobiose*, *trehalose*, *melibiose*, *raffinose*, *melezitose*, *inulin*, *D-xylose*, *L-arabinose*, *D-ribose*, *L-rhamnose*, *ethanol*, *glycerol*, *erythritol*, *ribitol*, *D-mannitol*, *D-glucitol*, *D-gluconate*, *inositol*, *2-keto-D-gluconate* dan *5-keto-D-gluconate* (Kurtzman & Fell, 2012). Spesies *R. minuta* mengasimilasi komponen karbon *glucose*, *sucrose*, *trehalose*, *melezitose*, *D-xylose*, *L-arabinose*, *N-acetyl-D-glucosamine*, *glycerol*, *D-gluconate*, *succinate*, *2-keto-D-gluconate*, *5-keto-D-gluconate* dan *D-gluconate* (Kurtzman & Fell, 2012). Spesies *C. tropicalis* mengasimilasi *glucose*, *galactose*, *maltose*, *trehalose*, *cellobiose*, *D-xylose*, *N-acetyl-D-glucosamine*, *ethanol*, *ribitol*, *D-mannitol*, *D-glucitol*, *succinate*, *citrate*, *hexadecane*, *2-keto-D-gluconate*, *5-keto-D-gluconate*, *xylitol*, *arbutin*, *cadaverine*, *L-lysine*, dan *ethylamine* (Kurtzman & Fell 2012).

Khamir antagonis yang diperoleh dari penelitian ini mampu memanfaatkan beberapa sumber karbon sederhana. Kemampuan memanfaatkan sumber karbon sederhana ini sangat penting diketahui untuk mendapatkan sumber-sumber karbon alami yang murah. Sumber karbon alami dapat diperoleh dari biji-bijian dan limbah industri. Sumber karbon alami yang murah ini sangat penting dalam perbanyakan agens biokontrol termasuk khamir antagonis. Beberapa syarat media tumbuh yang dapat digunakan untuk perbanyakan agen biokontrol adalah media tumbuh tersebut murah, mudah didapat, dapat menyebabkan pertumbuhan yang cepat, dan dapat meningkatkan keefektifan agens biokontrol tersebut. Beberapa sumber karbon sederhana seperti glukosa, fruktosa, galaktosa, maltosa, dan sukrosa dapat diperoleh dari biji-bijian seperti beras dan jagung, serta dari limbah industri seperti molase dari limbah gula tebu, limbah cair sulfit dari industri kertas, serbuk gergaji, dedak dan sebagainya.

Peran sumber karbon selain dibutuhkan dalam medium tumbuh khamir juga berperan dalam meningkatkan kemampuan biokontrol khamir. Peran sumber karbon terhadap kemampuan biokontrol khamir berhubungan erat dengan kemampuan khamir dalam mekanisme kompetisi nutrisi. Oleh karena itu, penambahan nutrisi harus dapat meningkatkan kemampuan biokontrol khamir antagonis. Druvefors (2004) melaporkan bahwa penambahan sumber karbon pada air yang digunakan untuk menghidrasi bulir gandum dapat meningkatkan kemampuan biokontrol khamir *Pichia anomala* terhadap *Penicillium roqueforti* pada gandum, namun penambahan nitrogen dan glutamin tidak mempengaruhi kemampuan biokontrol. Penambahan *glucose* dan *maltose* meningkatkan kemampuan *P. anomala* dalam menghambat pertumbuhan *P. roqueforti*, sedangkan pati dan *glycerol* hanya sedikit meningkatkan kemampuan *P. anomala* dalam menghambat *P. roqueforti* (Druvefors 2004). Janisiewicz (1994) melaporkan bahwa pemberian sumber karbon 2-deoxy-D-glucose (2-DOG) pada medium tumbuh mampu meningkatkan kemampuan biokontrol khamir *Sporobolomyces roseus* dan *Pseudomonas syringae* terhadap *Penicillium expansum* penyebab *blue mold* pada buah apel dan pir. Perlakuan tersebut meningkatkan populasi *S. roseus* dan *P. syringae* secara signifikan selama masa inkubasi. Pemberian sumber karbon 2-DOG tersebut mampu menurunkan konsentrasi antagonis yang dibutuhkan untuk aplikasi pengendalian *blue mold* pada buah. Penambahan sumber karbon dapat meningkatkan kemampuan biokontrol agens antagonis melalui peningkatan pertumbuhan agens antagonis dan meningkatkan kemampuan menghasilkan senyawa-senyawa toksik berupa etilasetat dan etanol yang berperan dalam biokontrol (Janisiewicz, 1994; Druvefors, 2004).

Khamir antagonis memiliki karakteristik morfologi secara makroskopis menunjukkan bahwa koloni khamir didominasi warna krem keputihan dengan permukaan kasar, kusam, dan tepi koloni tidak rata. Karakteristik sel secara mikroskopis menunjukkan bentuk sel didominasi oleh bentuk silinder, dengan ukuran bervariasi, sebagian besar khamir bersifat dimorfik karena dapat menghasilkan sel dan hifa atau pseudohifa. Karakteristik biokimia khamir antagonis menunjukkan sebagian besar khamir tersebut mampu memanfaatkan berbagai sumber karbon. Seluruh khamir antagonis dimorfik yaitu *A. pullulans*, *P. hubeiensis*, *P. aphidis* dan *P. shanxiensis* dapat memanfaatkan 20 sumber karbon yang sama yaitu *Tween 80*, *Arbutin*, *D-Gluconic Acid*, *D-Glucuronic Acid*, *D-Ribose*, *Salicin*, *γ -Amino-Butyric Acid*, *Bromosuccinic Acid*, *Fumaric Acid*, *β -Hydroxy Butyric Acid*, *L-Lactic Acid*, *L-Malic Acid*, *Succinamic Acid*, *Succinic Acid*, *Alaninamide*, *L-Alanine*, *L-Aspartic Acid*, *L-Glutamic Acid*, *Putrecine*, dan *Quinic Acid*. Dua spesies khamir yaitu *R. minuta* dan *Ca. tropicalis* dapat memanfaatkan 2 sumber karbon yang sama yaitu *D-Trehalose* dan *D-Galactose plus D-Xylose*. Spesies *P. shanxiensis* dan *P. aphidis* relatif mudah ditumbuhkan karena memiliki kemampuan memanfaatkan seluruh sumber karbon yang diuji yaitu sebanyak 96 sumber karbon. Sumber karbon yang dapat dimanfaatkan oleh khamir antagonis tersebut dapat digunakan sebagai medium tumbuh untuk perbanyakan khamir dan meningkatkan kemampuan biokontrol terhadap antraknosa pada cabai.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Republik Indonesia melalui Hibah Penelitian Unggulan Strategis Nasional dengan ketua tim peneliti Prof Dr Ir Sri Hendrastuti Hidayat, MSc dan LPPM Universitas Padjadjaran melalui Penelitian Hibah Kompetitif Unpad.

Pustaka

- Barnett JA, Payne RW, Yarrow D. 2000 –*Yeast: Characteristics and Identification*. 3thed. Cambridge University Press. Cambridge (GB).
- Buxdorf K, Rahat I, Gafni A, Levy M. 2013 –The epiphytic fungus *Pseudozyma aphidis* induces jasmonic acid- and salicylic acid/nonexpressor of PR1-independent local and systemic resistance. *Plant Physiology* 161, 2014–2022.
- Carlile MJ, Watkinson SC, Gooday GW. 2001 –*The Fungi*. 5th ed. Academic Pr. California (US). p. 588.
- Chanchaichaovivat A, Ruenwongsa P, Panijpan B. 2008 – Putative modes of action of *Pichia guilliermondii* strain R13 in controlling chili anthracnose after harvest. *Biological Control* 47, 207–215.
- Chan Z, Tian S. 2005 – Interaction of antagonistic yeast against postharvest pathogens of apple fruit and possible mode of action. *Postharvest Biology Technology* 36, 215–223.
- Chang CW, Wang PH. 2002 – Six *Rhodotorula* species from Taiwan. *Fungal Science* 17(1, 2), 23–26.
- Csutak O, Vassu T, Sarbu I, Stoical I, Cornea P. 2013 –Antagonistic activity of three newly isolated yeast strains from the surface of fruits. *Food Technology Biotechnology* 51(1), 70–77.
- Druvefors UÅ. 2004 –Yeast biocontrol of grain spoilage moulds–mode of action of *Pichia anomala* [dissertation]. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden (SE).
- Gaur R, Singh R, Gupta M, Gaur MK. 2010 –Review *Aureobasidium pullulans*, an economically important polymorphic yeast with special reference to pullulan. *African Journal of Biotechnology* 9(47), 7989–7997. www.academicjournals.org/AJB. (accessed 18 Desember 2014).
- Gholamnejad J, Etebarian HR, Sahebani N. 2010 – Biological control of apple blue mold with *Candida membranifaciens* and *Rhodotorula mucilaginosa*. *African Journal of Food Science* 4(1), 1–7.
- Guarro J, Gene J, Stchigel AM. 1999 – Developments in fungal taxonomy. *Clin Microbiol Rev* 12, 454–500.
- Haïssam JM. 2011–*Pichia anomala* in biocontrol for apples: 20 years of fundamental research and practical application. *Antonie van Leeuwenhoek* 99, 93–105.
- Hartati S, Wiyono S, Hendrastuti H, Sinaga MS. 2016 – Khamir sebagai agens biokontrol antraknosa (*Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds) pada cabai pascapanen (disertasi). Institut Pertanian Bogor. Indonesia.
- Janisiewicz WJ. 1994 –Enhancement of biocontrol of blue mold with the nutrient analog 2-deoxy-D-glucose on apples and pears. *Journal Applied Microbiology* 60(8), 2671–2676.
- Kalogiannis S, Tjamos SE, Stergiou A, Antoniou PP, Ziogas BN, Tjamos EC. 2006 – Selection and evaluation of phyllosphere yeasts as biocontrol agents against grey mould of tomato. *European Journal Plant Pathology* 116, 69–76.
- Kurtzman CP, Fell JW. 2012 –*The Yeasts: A Taxonomic Study*. 5th ed. Elsevier Science Publishers. Amsterdam (NL).

- Kurtzman CP, Robnett CJ. 2003 –Phylogenetic relationships among yeasts of the ‘*Saccharomyces complex*’ determined from multigene sequence analyses. *FEMS Yeast Res*3, 417–432.
- Li R, Zhang H, Liu W, Zheng X. 2011 – Biocontrol of postharvest gray and blue mold decay of apples with *Rhodotorula mucilaginosa* and possible mechanisms of action. *International Journal of Food Microbiology* 146, 151–156.
- Nantawanit N, Chanchaichaovivat A, Panijpan B, Ruenwongsa P. 2010–Induction of defense response against *Colletotrichum capsici* in chili fruit by the yeast *Pichiaguilliermondii* strain R13. *BiologicalControl* 52, 145–52.
- Rosa-Magri MM, Tauk-Tornisielo SM, Ceccato-Antonini SR. 2011 – Bioprospection of yeasts as biocontrol agents against phytopathogenic molds. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 54, 1–5.
- Santos A, Sánchez A, Marquina D. 2004 –Yeasts as biological agents to control *Botrytis cinerea*. *Microbiology Research* 159, 331–338.
- Wang QM, Jia JH, Bai FY. 2006 –*Pseudozyma hubeiensis* sp. nov. and *Pseudozyma shanxiensis* sp. nov., novel ustilaginomycetous anamorphic yeast species from plant leaves. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56, 289–293. DOI:10.1099/ ijs.0.63827-0.
- Zalar P, Gostincar C, de Hoog GS, Ursic V, Sudhadham M, Gunde-Cimerman N. 2008 – Redefinition of *Aureobasidium pullulans* and its varieties. *Studies in Mycology* 61, 21–38. DOI:10.3114/sim.2008.61.02.
- Ziedan ESHE, Farrag ESH. 2011 – Application of yeasts as biocontrol agents for controlling foliar diseases on sugar beet plants. *Journal of Agriculture Technology* 7(6), 1789–1799.